

**ANALISIS BANGUNAN DENGAN SISTEM DINDING FEROSEMEN TANPA  
BALOK-KOLOM DAN SISTEM *FRAME* BALOK-KOLOM  
(Studi Kasus Bangunan di Kabupaten Bandung)**

**ANALYSIS OF BUILDINGS WITH FEROCEMENT WALL SYSTEM WITHOUT  
BEAM-COLUMN AND BEAM-COLUMN FRAME SYSTEM  
(Case Study of Buildings in Bandung Regency)**

**Yonathan Adi Saputra<sup>1</sup>, Yosafat Aji Pranata<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Program Sarjana Teknik Sipil, Universitas Kristen Maranatha, Jl. Suria Sumantri 65, Bandung, 40164, Indonesia

<sup>2</sup> Program Magister Teknik Sipil, Universitas Kristen Maranatha, Jl. Suria Sumantri 65, Bandung, 40164, Indonesia

Email: [yosafat.ap@maranatha.ac.id](mailto:yosafat.ap@maranatha.ac.id)

Received: 29 April 2025 Revised: 08 Mei 2025 Accepted: 28 Mei 2025 Published: 28 Mei 2025

### **ABSTRAK**

*Penelitian ini bertujuan menganalisa perilaku kekakuan dan kekuatan struktur bangunan rumah tinggal yang dimodelkan sebagai sistem frame balok-kolom dan sistem dinding ferosemen sebagai pengganti balok-kolom, dengan studi kasus bangunan rumah tinggal di Kabupaten Bandung. Rumah tinggal tersebut menggunakan bata ringan sebagai material penyusun dinding. Ruang lingkup penelitian menggunakan dua rumah di Desa Mekarjaya, Kabupaten Bandung. Perilaku kekakuan yang dipelajari yaitu deformasi dan drift bangunan akibat beban lateral (beban gempa rencana), sedangkan perilaku kekuatan mencakup gaya-gaya dalam akibat beban gravitasi dan beban lateral. Hasil analisis model struktur dengan dinding ferosemen sebagai pengganti balok-kolom memiliki kekakuan yang lebih rendah dibandingkan dengan sistem struktur frame balok-kolom terhadap beban lateral, yaitu deformasi dan respon dinamik yang lebih besar. Sistem bangunan dengan dinding ferosemen dapat mendukung pemerintah untuk meningkatkan standar hunian layak bagi masyarakat berpenghasilan rendah melalui Program Bantuan Stimulan Perumahan Swadaya (BSPS) dan pengembangan konstruksi tahan gempa di daerah rawan gempa seperti Kabupaten Bandung.*

**Kata kunci:** *Beban lateral, Dinding ferosemen, Frame, Kekakuan*

### **ABSTRACT**

*This study aims to analyze the stiffness and strength behavior of residential building structures modeled as a beam-column frame system and a ferrocement wall system as a substitute for beam-columns, with a case study of a residential building in Bandung Regency. The house uses lightweight bricks as the wall material. The scope of the study used two houses in Mekarjaya Village, Bandung Regency. The stiffness behavior studied was the deformation and drift of the building due to lateral loads (planned earthquake loads), while the strength behavior included internal forces due to gravity loads and lateral loads. The results of the analysis of the structural model with ferrocement walls as a substitute for beam-columns had lower stiffness compared to the beam-column frame structural system against lateral loads, namely greater deformation and dynamic response. The building system with ferrocement walls can support the government to improve the standard of decent housing for low-income people through the Self-Help Housing Stimulus Assistance Program (BSPS) and the development of earthquake-resistant construction in earthquake-prone areas such as Bandung Regency.*

**Keywords:** *Ferrocement wall, Frame, Lateral load, Stiffness*

## PENDAHULUAN

Gempa bumi merupakan peristiwa yang pergerakan tanah secara tak terduga yang merambat dari suatu titik ke titik lainnya akibat dari pelepasan gelombang seismik, yang dapat menyebabkan dampak kerusakan yang cukup signifikan terhadap bangunan maupun infrastruktur lainnya. Sebelum atau ataupun sesudah bencana terjadi upaya yang seringkali difokuskan yaitu hanya pada sistem perkuatan komponen struktural seperti pondasi, kolom, balok dan pelat bangunan. Namun elemen non-struktural seperti dinding seringkali diabaikan, meskipun reruntuhannya menimbulkan korban jiwa (Saputra dkk., 2015).

Wilayah Indonesia yang rawan gempa adalah Kabupaten Bandung berdasarkan data Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Provinsi Jawa Barat, memiliki risiko tinggi menimbulkan kerusakan besar pada infrastruktur perumahan. Dalam sistem pembangunan perumahan dilokasi rawan gempa ini, keberlanjutan dan ketahanan terhadap gempa bumi merupakan aspek yang krusial. Program Bantuan Stimulan Perumahan Swadaya (BSPS) dari pemerintah ini berupaya meningkatkan standar rumah layak huni untuk masyarakat berpenghasilan rendah (MBR) termasuk di Kabupaten Bandung. Dalam mencapai tujuan tersebut perlu adanya inovasi alternatif, salah satu inovasi yang sedang dikembangkan adalah penggunaan teknologi ferosemen, yang menawarkan kekuatan, kelenturan, dan ketahanan terhadap gempa yang lebih unggul dibandingkan metode konstruksi sistem *frame* balok-kolom (Gunasti dkk., 2023).

Penelitian ini bertujuan mempelajari perilaku kekakuan dan kekuatan struktur bangunan rumah tinggal yang dimodelkan sebagai sistem *frame* balok-kolom dan sistem dinding ferosemen sebagai pengganti balok-kolom, dengan objek penelitian rumah tinggal di Kabupaten Bandung. Penelitian

ini bertujuan mempelajari perilaku kekakuan dan kekuatan struktur bangunan rumah tinggal yang dimodelkan sebagai sistem *frame* balok-kolom dan sistem dinding ferosemen sebagai pengganti balok-kolom dimana, dengan studi kasus bangunan rumah tinggal di Kabupaten Bandung.

Ruang lingkup penelitian yaitu rumah tinggal menggunakan batu bata ringan sebagai material penyusun dinding, pemodelan dan analisis dilakukan dengan perangkat lunak ETABS dan SAP2000. Studi kasus menggunakan 2 (dua) rumah di Desa Mekarjaya, Kabupaten Bandung. Perilaku kekakuan yang dipelajari yaitu deformasi dan *drift* bangunan akibat beban lateral yaitu beban gempa rencana. Perilaku kekuatan yang dipelajari yaitu gaya-gaya dalam pada struktur akibat beban gravitasi (beban hidup, beban mati, dan air hujan) serta lateral (beban gempa rencana). Analisis beban gempa rencana dilakukan dengan metode respon spektrum berdasarkan acuan SNI 1726:2019 (Badan Standarisasi Nasional, 2019) untuk perhitungan gempa. Struktur dinding pasangan bata ringan dimodelkan sebagai elemen *equivalent strut*, dengan perhitungan menggunakan tinjauan literatur (Sudarsana dkk., 2023).

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat dalam pengembangan konstruksi tahan gempa dalam proyek Bantuan Stimulan Perumahan Swadaya (BSPS) yang dikelola oleh Direktorat Jenderal Perumahan Rakyat Provinsi Jawa Barat, khususnya untuk wilayah-wilayah rawan gempa seperti pada lokasi penelitian Desa Mekarjaya, Kecamatan Banjaran, Kabupaten Bandung.

### 1. *Strut* Diagonal Ekuivalen

Pendekatan analisis struktur rangka yang dikenal dengan metode *strut* diagonal ekuivalen, representasi dinding diasumsikan sebagai batang tekan yang terhubung pada sambungan balok dan kolom yang dipasang diagonal dengan sudut tertentu yang disesuaikan dengan lebar dan tinggi dinding.

Batang ini dimodelkan pada program menggunakan elemen *frame* dengan diameter tertentu (Sudarsana dkk., 2023). Luas wilayah dinding bata ringan dinotasikan dengan lambang ( $A_d$ ) ditentukan dengan Persamaan (1) sampai dengan Persamaan (4).

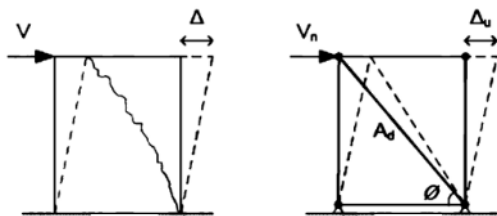
$$A_d = \frac{L_d T_b}{\lambda \cos^2 \theta} \dots\dots\dots (1)$$

$$L_d = \sqrt{W_b^2 + H_b^2} \dots\dots\dots (2)$$

$$\theta = \tan^{-1} \left( \frac{H_b}{W_b} \right) \dots\dots\dots (3)$$

$$\lambda = \left( \frac{5}{3} + \frac{3}{2} v \right) \frac{W_b}{H_b} + \left( 2 + \frac{7}{4} v \right) \frac{H_b}{W_b} + \left( 2 + \frac{3}{2} v \right) \frac{H_b^3}{W_b^3} \dots\dots\dots (4)$$

Dengan  $T_b$  adalah ketebalan dinding bata (mm),  $A_d$  adalah luas area representasi dinding bata ( $\text{mm}^2$ ),  $L_d$  adalah panjang dari dinding bata (mm). Selain itu, rasio poisson  $v$  sebesar 0,15 dan  $\theta$  adalah sudut kemiringan strut. Parameter lainnya adalah  $H_b$  adalah tinggi dinding bata (mm) dan  $W_b$  adalah lebar dinding bata (mm).



Gambar 1. Simulasi Dinding Bata Ringan (Zarkasi, 2021)

Dinding struktural mengalami beban aksial tekan dan tarik (Puspitasari dkk., 2022). Dalam menganalisis perilaku struktur dinding terhadap beban aksial, digunakan pendekatan sistem batang tekan dan batang tarik. Hasil analisis menunjukkan bahwa rasio tegangan tarik dan tekan yang terjadi memenuhi persyaratan desain. Rasio tegangan diperoleh dari perbandingan tegangan akibat pembebanan dengan

tegangan yang diizinkan sesuai dengan karakteristik material dan dimensi elemen struktur yang digunakan.

**2. Bata Ringan**

Bata ringan merupakan bata struktur yang memiliki pori dengan berat jenis ringan dibandingkan bata umumnya. Dengan berat jenis bata ringan 600-1600  $\text{kg/m}^3$  kekuatan tergantung komposisi campuran. Pada dasarnya terdapat 2 jenis bata ringan yaitu *Autoclaved Aerated Concrete* (AAC) diproduksi dengan mencampur pasir, semen, kapur, dan bubuk aluminium. Campuran tersebut dikeringkan dalam *oven autoclaved*, yang menghasilkan bata ringan dengan kekuatan yang sangat baik dan *Celullar Lightweight Concrete* (CLC) diproduksi dengan mencampur semen, pasir, *fly ash*, air, dan bahan pembuat busa. Campuran tersebut dikeringkan secara alami untuk menciptakan gelembung udara, sehingga menghasilkan bata ringan (Zulapriansyah dkk., 2020).

**3. Ferosemen**

Ferosemen adalah suatu bentuk konstruksi beton bertulang tipis melibatkan perkuatan campuran semen dan pasir dengan tulangan menerus dari lapisan kawat berdiameter kecil (*wiremesh*) (Rahman dkk., 2013). Kawat anyaman vertikal berfungsi sebagai pengganti kolom pada desain ini, sedangkan kawat anyaman horisontal berfungsi sebagai pengganti balok. Dibandingkan dengan metode *frame* balok-kolom, material ini menawarkan kekuatan, fleksibilitas, dan daya tahan yang unggul, serta untuk memperkuat konstruksi dinding yang ada (Gunasti dan Laili, 2024).

**4. Analisis Struktur Berbasis Metode Elemen Hingga**

Metode elemen hingga adalah salah satu metode dengan pendekatan numerik dengan tujuan untuk analisis struktur bangunan gedung secara tiga dimensi maupun dua dimensi. Analisis berbasis metode elemen hingga dapat dipergunakan untuk

mendapatkan prediksi perilaku struktur, seperti gaya-gaya dalam, deformasi bangunan akibat adanya beban yang bekerja.

Metode elemen hingga digunakan dalam perancangan dan analisis struktur bangunan gedung, antara lain untuk analisis kekuatan dalam konteks memprediksi gaya-dalam (tegangan, momen lentur, gaya geser, gaya serta aksial) pada elemen struktural yaitu kolom dan balok. Deformasi bangunan akibat beban lateral dan beban gravitasi juga dapat diprediksi.

(Yuristia dkk., 2018) menggunakan perangkat lunak ETABS untuk mempelajari perilaku bangunan gedung bertingkat akibat beban lateral gempa bumi, dengan beban gempa rencana diperhitungkan dengan menggunakan acuan peraturan gempa Indonesia SNI 1726 (BSN, 2012).

(Rahmadani dkk., 2019) mempelajari perilaku bangunan tidak beraturan dengan konteks tinjauan horizontal terhadap beban gempa dengan menggunakan analisis struktur berbasis metode elemen hingga dengan perangkat lunak ETABS, beban gempa rencana diperhitungkan sesuai acuan SNI 1726:2012.

(Patria dan Haq, 2024) menggunakan perangkat lunak ETABS untuk analisis struktur bangunan 3D dengan tujuan untuk mempelajari pengaruh konfigurasi dinding geser terhadap kapasitas bangunan gedung bertingkat, khususnya akibat beban lateral. Beban lateral diperhitungkan dengan

menggunakan acuan peraturan gempa Indonesia (Badan Standarisasi Nasional, 2019).

**METODE**

Metode ini menggunakan pemodelan struktur dengan perangkat lunak ETABS dan SAP2000. Beban yang diterapkan dalam model mencakup beban gravitasi meliputi beban mati, beban mati tambahan, dan beban hidup. Hasil analisis ini digunakan untuk mengetahui perbedaan perilaku kekakuan dan kekuatan pada kedua sistem struktur.

Tampak atas dari dua rumah yang berbeda ditunjukkan pada Gambar 2 sebagai berikut.



Gambar 2. Tampak Atas. (a) Rumah 1 (b) Rumah 2

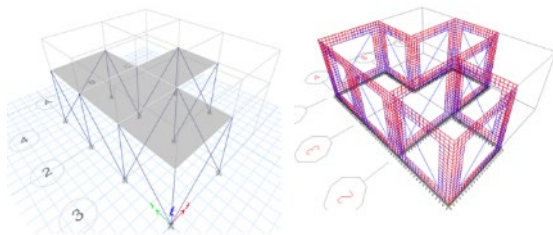
Gambar 2 memperlihatkan denah bangunan rumah tinggal sebagai objek penelitian ini, yaitu terdapat 2 (dua) rumah. Spesifikasi bangunan masing-masing dari kedua rumah diatas ditunjukkan pada Tabel 1 sebagai berikut.

Tabel 1. Spesifikasi Bangunan

Uraian		Hasil
Jenis bangunan		Rumah sederhana (1 tingkat)
Lokasi bangunan		Desa Mekarjaya, Kecamatan Banjaran, Kabupaten Bandung
Sistem struktur bangunan		SPRMB
Fungsi bangunan		Hunian
Tinggi lantai		3 m
Luas total bangunan	Rumah 1	30 m <sup>2</sup>
	Rumah 2	24 m <sup>2</sup>
Mutu bahan		

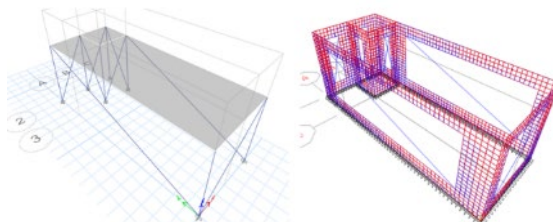
Uraian	Hasil
Beton	$f'_c$ 20,75 MPa
Tulangan baja BJTP 478	$f_y$ 280 MPa; $f_u$ 478 MPa
Bata Ringan	$E$ 1119,47 MPa; $\nu$ 0,15; $f$ 2,23 MPa

Pemodelan tiga dimensi Rumah 1 sebagai sistem *frame* balok-kolom serta sistem struktur dinding ferosemen sebagai pengganti balok-kolom diperlihatkan pada Gambar 3 sebagai berikut.



Gambar 3. Pemodelan 3D Rumah 1 (a) *Frame* Balok-Kolom. (b) Ferosemen

Pemodelan tiga dimensi Rumah 1 sebagai sistem *frame* balok-kolom serta sistem struktur dinding ferosemen sebagai pengganti balok-kolom diperlihatkan pada Gambar 4 sebagai berikut.



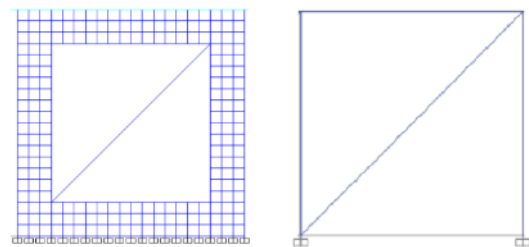
Gambar 4. Pemodelan 3D Rumah 2 (a) *Frame* Balok-Kolom. (b) Ferosemen

Kedua model rumah tersebut menggunakan elemen *equivalent strut* untuk memodelkan dinding pasangan bata.

### HASIL DAN PEMBAHASAN

Sebelum analisis pemodelan, diperlukan pendimensian dinding yang dimodelkan dalam bentuk *strut* ekuivalen sebagai representasi wilayah dinding bata ringan. Pada contoh perhitungan ini diambil pada rumah 1 portal A-B dengan lebar 2,5 m, untuk bagian struktur ferosemen bagian

dinding akan dilapisi *wiremesh* setiap sisi atas, bawah, kanan, kiri dengan lebar 450 mm dan panjang menyesuaikan dengan dinding seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Pemodelan Dinding Ferosemen dan *Frame* Balok-Kolom

Gambar 5 memperlihatkan contoh tampilan hasil pemodelan rumah tinggal, yaitu diperlihatkan salah satu sisi rumah, yang dimodelkan sebagai sistem dinding-ferosemen dan *strut* ekuivalen sebagai pemodelan dinding pasangan bata (Gambar 5.a) dan sistem struktur balok-kolom dengan *strut* ekuivalen sebagai pengganti dinding pasangan bata (Gambar 5.b).

Perhitungan *strut* ekuivalen untuk memodelkan dinding pasangan bata yaitu menggunakan referensi perhitungan *strut* berdasarkan tinjauan literatur. Hasil perhitungan sebagai berikut:

- H = 3000 mm
- W = 2500 mm
- T = 100 mm
- h = 200 mm
- i = 600 mm
- $\nu$  = 0,15

Faktor reduksi lebar *strut* selanjutnya dapat dihitung menggunakan Persamaan (4) sebagai berikut.

**Analisis Bangunan dengan (Saputra/hal. 222-235)**

$$\lambda = \left(\frac{5}{3} + \frac{3}{2} 0,15\right) \frac{2500}{3000} + \left(2 + \frac{7}{4} 0,15\right) \frac{3000}{2500} + \left(2 + \frac{3}{2} 0,15\right) \frac{3000^3}{2500^3} = 6,05$$

Panjang dinding bata selanjutnya dapat dihitung menggunakan Persamaan (2) sebagai berikut.

$$L_d = \sqrt{2500^3 + 3000^3} = 3905,125 \text{ mm}$$

Sudut kemiringan strut dapat dihitung menggunakan Persamaan (3) sebagai berikut.

$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{3000}{2500}\right) = 50,19^\circ$$

Luas wilayah dinding bata ringan selanjutnya dapat dihitung menggunakan Persamaan (1) sebagai berikut.

$$A_d = \frac{3905,13 \cdot 100}{6,05 \cos^2 50,19^\circ} = 64861,75 \text{ mm}^2$$

Dari hasil perhitungan diatas berlaku untuk setiap dinding, jika ada komponen arsitektural seperti jendela atau pintu, luas wilayah tersebut dikurangi oleh luas komponen arsitektural tersebut. Data tersebut digunakan dalam penginputan permodelan penampang elemen *frame* SAP 2000 (CSI 2024b) dan ETABS (CSI 2024a).

Hasil perhitungan diameter diagonal *strut* untuk studi kasus Rumah 1 ditampilkan pada Tabel 2 di bawah ini.

Tabel 2. Diameter Diagonal *Strut* Rumah 1

Tipe Dinding	Struktur <i>Frame</i> Balok-Kolom	Struktur Ferosemen
d1	286,62 mm	284,24 mm
d1 <sub>a</sub>	287,32 mm	285,89 mm
d1 <sub>b</sub>	285,15 mm	285,52 mm
d1 <sub>c</sub>	287,32 mm	285,89 mm
d1 <sub>d</sub>	285,15 mm	285,52 mm
d1 <sub>e</sub>	285,15 mm	285,52 mm
d2	649,27 mm	542,22 mm
d2 <sub>a</sub>	649,27 mm	542,22 mm
d2 <sub>b</sub>	649,27 mm	542,22 mm
d2 <sub>c</sub>	648,58 mm	542,05 mm
d2 <sub>d</sub>	649,27 mm	542,22 mm

Hasil perhitungan diameter diagonal *strut* untuk studi kasus Rumah 2 ditampilkan pada Tabel 3 di bawah ini.

Tabel 3. Diameter Diagonal *Strut* Rumah 2

Tipe Dinding	Struktur <i>Frame</i> Balok-Kolom	Struktur Ferosemen
d1	178,30 mm	236,73 mm
d1 <sub>a</sub>	178,30 mm	236,73 mm
d1 <sub>b</sub>	178,30 mm	236,73 mm
d1 <sub>c</sub>	178,30 mm	236,73 mm
d1 <sub>d</sub>	178,13 mm	235,92 mm
d2	647,96 mm	540,98 mm
d3	477,21 mm	2786,09 mm
d4	3330,02 mm	381,02 mm

Adapun notasi label tipe dinding menggunakan referensi dari Gambar 2. Berikutnya adalah pemodelan beban-beban yang pada bangunan yang dianalisis dan perlu dilakukan sebelumnya, bertujuan untuk mengetahui respon tersebut terhadap beban yang dipikul terutama pada beban

gempa. Dalam pembebanan SNI 1727 (Badan Standarisasi Nasional, 2020) beban terbagi atas beban mati tambahan dan beban hidup yang disesuaikan dengan penggunaan ruang gedung tersebut. Hasil ditampilkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Rekapitulasi Berat Struktur

Rumah	Arah	Struktur <i>Frame</i> Balok-Kolom (kN)	Struktur Ferosemen (kN)
1	X	16,068	17,932
	Y	16,068	17,932
2	X	96,941	98,904
	Y	96,941	98,804

Dalam perhitungan beban gempa, nilai koefisien situs harus dihitung terlebih dahulu untuk menentukan parameter respon spektral dalam analisis respons spektrum. Dengan menggunakan website RSA Cipta Karya (Kementerian Pekerjaan Umum, 2021). Penelitian ini didasarkan pada beban gempa yang didefinisikan sebagai percepatan pergerakan tanah per detik pada saat terjadi gempa.

Persyaratan jumlah ragam ditetapkan SNI 1726:2019 (BSN 2019). Jumlah ragam yang disyaratkan adalah jumlah ragam yang cukup untuk mendapatkan partisipasi massa ragam terkombinasi minimum 90% dari massa struktur dalam arah horisontal dari respon yang di analisis. Hasil analisis parameter respon spektral disajikan pada Tabel 5.

Tabel 5. Parameter Respon Spektral

Parameter	Hasil
Kelas situs	tanah sedang (SD)
Faktor keutamaan	1,0
Kategori risiko dan faktor keutamaan	II
Parameter respon spektral	$S_{MS} = 1,136$ ; $S_{M1} = 0,868$
Parameter percepatan gempa	$S_S = 1,053$ ; $S_I = 0,476$
Perameter percepatan spektral desain	$S_{DS} = 0,758$ ; $S_{D1} = 0,579$
Koefisien situs	$F_a = 1,078$ ; $F_v = 1,824$
Kategori desain sesimik	D
Koefisien modifikasi respons, $R^a$	3
Faktor kuat lebih sistem, $\Omega^b$	2,5
Faktor pembesaran defleksi, $C_d^c$	2,5

Berdasarkan SNI 1726 (Badan Standarisasi Nasional, 2019) pasal 7.8.2 periode bangunan berada diantara periode getar minimum dan maksimum. Jika periode

bangunan hasil analisis lebih besar dari hasil periode maksimum maka dalam perhitungan selanjutnya digunakan periode maksimum. Kontrol periode struktur, contoh perhitungan

**Analisis Bangunan dengan (Saputra/hal. 222-235)**

dilakukan pada rumah 1 struktur *frame* *Participating Mass Ratio* ditampilkan pada balok-kolom. Perhitungan *Modal* Tabel 6.

Tabel 6. *Modal Participating Mass Ratio*

Rumah	Struktur <i>Frame</i> Balok-Kolom				Struktur Ferosemen			
	<i>Mode</i>	<i>Period (sec)</i>	<i>Sum UX</i>	<i>Sum UY</i>	<i>Mode</i>	<i>Period (sec)</i>	<i>Sum UX</i>	<i>Sum UY</i>
1	1	0,115	0,975	0,142	1	0,885	0,001	0,020
	2	0,066	0,993	0,132	2	0,882	0,001	0,178
	3	0,059	1,000	1,000	3	0,879	0,002	0,286
2	1	0,299	0,951	0,963	1	0,960	0,472	$3,19 \cdot 10^{-6}$
	2	0,076	0,952	1,000	2	0,742	0,895	$3,04 \cdot 10^{-5}$
	3	0,049	1,000	1,000	3	0,233	0,911	0,006

Selanjutnya dilakukan perhitungan ditampilkan pada Tabel 7 di bawah ini. parameter kontrol periode struktur yang

Tabel 7. Parameter Kontrol Periode Struktur

Parameter	Nilai
Koefisien modifikasi respon	$C_u$
	1,4
	$C_t$
	0,0466
	$x$
	0,75
Ketinggian struktur	$h$
	3 m
Periode struktur bangunan	$T_a$
	$C_t \cdot h_x$
	0,125 s
Periode maksimum	$T_{max}$
	$C_u \cdot T_a$
	0,175 sec
Periode X	$T_{c,X}$
	0,115 sec
Periode Y	$T_{c,Y}$
	0,066 sec
Periode pakai X	$T_X$
	0,115 sec
Periode pakai Y	$T_Y$
	0,066 sec

Mengacu pasal 7.8.1.1 SNI 1726:2019 (Badan Standarisasi Nasional, 2019), nilai koefisien respon seismik ditentukan untuk batas maksimum dan minimum pada arah kedua sumbu horisontal ditampilkan pada Tabel 8.

Tabel 8. Koefisien Respon Seismik

Parameter	Hasil
Koefisien respons seismik	$C_u$
	$\frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I_e}\right)}$
	0,252
Batas atas ( $T \leq T_0$ )	$C_{s \text{ maks}}$
	$\frac{S_{D1}}{T \left(\frac{R}{I_e}\right)}$

Parameter		Hasil
maks, X	$C_s$	1,677
maks, Y	$C_s$	2,923
Batas bawah ( $S_1 \geq 0,6$ g)	$C_{s\ min}$	$\frac{0,5 \cdot S_1}{\left(\frac{R}{I_e}\right)}$
		0,0003
Koefisien respons seismik pakai ( $C_s$ pakai)		
	$C_{s,X}$	1,677
	$C_{s,Y}$	2,293

Selanjutnya Tabel 9, memperlihatkan hasil analisis yaitu untuk perhitungan nilai koefisien respon seismik. Gaya geser dasar seismik  $V$  yang dihitung dengan berat bangunan ( $W$ ) dengan nilai koefisien respons seismik ( $C_s$ ). Maka gaya geser seismik kedua arah, arah X dan Y pada studi

kasus menghasilkan hasil yang berbeda karena nilai koefisien respon seismik yang berbeda. Persyaratan gaya geser dinamik ( $V_x, V_y$ ) dalam perbandingan  $V_{statik}$  dan  $V_{dinamik}$  lebih besar dari 1, apabila tidak memenuhi maka perlu dilakukan perbesaran gaya geser dinamik dengan faktor skala.

Tabel 9. Rekapitulasi Nilai Koefisien Respon Seismik

Parameter	Rumah dengan Model <i>Frame</i> Balok-Kolom		Rumah dengan Model Dinding Ferosemen	
	Rumah 1 (sec)	Rumah 2 (sec)	Rumah 1 (sec)	Rumah 2 (sec)
Periode maksimum $T_{maks}$	0,175	0,175	0,175	0,175
Periode hasil X $T_{c,X}$	0,115	0,299	0,885	0,959
Periode hasil Y $T_{c,Y}$	0,066	0,076	0,882	0,741
Periode pakai X $T_X$	0,115	0,175	0,175	0,175
Periode pakai Y $T_Y$	0,066	0,076	0,175	0,175
Koefisien respon seismik pakai ( $C_s$ pakai)				
	$C_{s,X}$	1,677	1,100	1,100
	$C_{s,Y}$	2,293	2,538	1,100

Berdasarkan Tabel 10, nilai rasio gaya geser dinamik tidak boleh melebihi atau sama dengan 100% dari nilai gaya geser statik ( $V_s$ ). Oleh karena itu, diperlukan penskalaan gaya dengan mengalikan faktor skala awal terhadap perbandingan  $V_s/V_D$ .

$$F_{S_{awal}} = \frac{g}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} \dots\dots\dots (5)$$

$$F_{S_{baru}} = \frac{V_s}{V_D} F_{S_{awal}} \dots\dots\dots (6)$$

Tabel 10. Rasio Gaya Geser Statik ( $V_S$ ) dan Gaya Geser Dinamik ( $V_D$ )

Rumah	Base Shear	Geser Dasar Statik ( $V_S$ ), kN		Geser Dasar Dinamik ( $V_D$ ), kN	
		Struktur <i>Frame</i> Balok-Kolom	Struktur Dinding Ferosemen	Struktur <i>Frame</i> Balok-Kolom	Struktur Dinding Ferosemen
1	X	26,955	13,128	9,467	6,364
	Y	46,966	13,128	13,74	7,052
2	X	106,65	108,700	85,965	86,478
	Y	246,077	108,700	68,474	90,943

Hasil perbandingan analisis penskalaan gaya pada studi kasus Rumah 1 dan 2 ditunjukkan pada Tabel 11 di bawah ini.

Tabel 11. Penskalaan Gaya

Rumah	Faktor Skala ( $V_S/V_D$ )		Faktor Skala Awal ( $m/s^2$ )	Faktor Skala Baru ( $m/s^2$ )	
	X	Y		X	Y
1 (Struktur <i>Frame</i> Balok-Kolom)	2,847	3,418	1,230	3,502	4,204
1 (Struktur Ferosemen)	2,063	1,862		2,537	2,290
2 (Struktur <i>Frame</i> Balok-Kolom)	1,241	3,594		1,526	4,420
2 (Struktur Ferosemen)	1,257	1,195		1,546	1,470

Pada Tabel 12, menunjukkan hasil perbandingan analisis penskalaan gaya. Berdasarkan Tabel 10, nilai perbandingan gaya geser dinamik ( $V_D$ ) dan gaya geser statik ( $V_S$ ) lebih besar 1, oleh karena itu, perlu dilakukan penskalaan gaya dengan mengalikan faktor skala awal terhadap perbandingan  $V_S/V_D$ .

Tabel 12. Perbandingan Penskalaan

Rumah	Base Shear	Geser Dasar Statik ( $V_S$ ), kN		Geser Dasar Dinamik ( $V_D$ ), kN	
		Struktur <i>Frame</i> Balok-Kolom	Struktur Dinding Ferosemen	Struktur <i>Frame</i> Balok-Kolom	Struktur Dinding Ferosemen
1	X	26,955	13,128	27,014	13,135
	Y	46,966	13,128	49,485	13,175
2	X	106,65	108,7	108,329	108,971
	Y	246,077	108,7	246,23	109,422

Simpangan antar lantai (*story drift*) perlu ditinjau untuk melihat perbedaan deformasi pada pusat masa ditingkat atas dan terbawah. Batasan izin simpangan tercantum dalam pasal 7.12.1 SNI 1726:2019 (Badan Standarisasi Nasional,

2019), namun tidak boleh dilampaui oleh simpangan tersebut dimaksudkan agar struktur tidak terlalu fleksibel, dengan demikian faktor keamanan terhadap elemen nonstruktural aman. Berikut akan ditampilkan simpangan antar tingkat model

struktur *frame* balok-kolom pada Tabel 13 di bawah ini.

Tabel 13. Simpangan Antar Tingkat Model Struktur *Frame* Balok-Kolom

Rumah	Arah	Frame Balok-Kolom			
		Story Drift $\Delta x$ , mm	Story Drift Izin, $\Delta a$ , mm	Story Drift Izin 2, $\Delta a_2$ , mm	$\Delta x < \Delta a$
1	X	0,378	60	78	Oke
	Y	2,587	60	78	Oke
2	X	6,330	60	78	Oke
	Y	0,938	60	78	Oke

Berikut akan ditampilkan simpangan antar tingkat model struktur dinding ferosemen pada Tabel 14 di bawah ini.

Tabel 14. Simpangan Antar Tingkat Model Struktur Dinding Ferosemen

Rumah	Arah	Frame Balok-Kolom			
		Story Drift $\Delta x$ , mm	Story Drift Izin, $\Delta a$ , mm	Story Drift Izin 2, $\Delta a_2$ , mm	$\Delta x < \Delta a$
1	X	4,395	60	78	Oke
	Y	8,705	60	78	Oke
2	X	5,060	60	78	Oke
	Y	1,590	60	78	Oke

Struktur bangunan *frame* balok-kolom dan ferosemen masih aman pada Tabel 13 dan Tabel 14 yang menunjukkan bahwa tingkat penyimpangan struktur masih dalam batas izin yang diperbolehkan atau lebih rendah dibandingkan nilai simpangan izin.

Nilai koefisien stabilitas ( $\theta$ ), pada kasus ini nilai  $P_x$  diambil dari berat bangunan,  $\Delta$  diambil dari hasil perhitungan *story drift*, dan  $V_x$  diambil dari gaya geser dinamik respon spektrum. Namun, tetap harus lebih rendah daripada batas maksimum. Dari Hasil analisis P-Delta, semua arah gaya geser gempa memenuhi persyaratan P-Delta, sehingga dalam kondisi struktur dalam kondisi stabil.

$$\theta = \frac{P_x \Delta I_e}{V_x h_{sx} C_d} \dots\dots\dots (7)$$

Namun, nilainya tidak boleh melebihi batas maksimum koefisien stabilitas.

$$\theta_{maks} = \frac{0,5}{\beta C_d} \leq 0,25 \dots\dots\dots (8)$$

Hasil perhitungan selengkapnya ditampilkan pada Tabel 9 yaitu simpangan antar tingkat rumah yang dimodelkan sebagai sistem *frame* balok kolom, Tabel 14 yaitu simpangan antar tingkat rumah yang dimodelkan sebagai sistem dinding ferosemen, Tabel 15 untuk mempelajari pengaruh *p-delta* pada struktur *frame* balok-kolom.

Tabel 15. Pengaruh *P-Delta* pada Struktur *Frame* Balok-Kolom

Rumah	Arah	Struktur <i>Frame</i> Balok-Kolom					
		P, N	$\Delta$ , mm	$V_d$ , N	$\theta$	$\theta_{maks}$	$\theta \leq \theta_{maks}$
1	X	16067,701	0,378	27014,400	0,000030	0,2	Oke
	Y	16067,701	2,5875	49485,300	0,000112	0,2	Oke
2	X	96940,654	6,330	108329,400	0,000755	0,2	Oke
	Y	96940,654	0,9375	246229,600	0,000049	0,2	Oke

Tabel 16 disajikan untuk mempelajari studi kasus Rumah 1 dan Rumah 2. pengaruh *p-delta* pada dinding ferosemen

Tabel 16. Pengaruh *P-Delta* pada Dinding Ferosemen

Rumah	Arah	Struktur <i>Frame</i> Balok-Kolom					
		P, N	$\Delta$ , mm	$V_d$ , N	$\theta$	$\theta_{maks}$	$\theta \leq \theta_{maks}$
1	X	11932,492	4,395	13135,030	0,000532	0,2	Oke
	Y	11932,492	8,705	13175,470	0,001051	0,2	Oke
2	X	98803,966	5,060	108971,200	0,000612	0,2	Oke
	Y	98803,966	1,590	109421,500	0,000191	0,2	Oke

Perhitungan momen, gaya geser, dan gaya aksial terbesar pada salah satu kolom. Perhitungan ini melibatkan analisis beban mati, beban hidup. Hasil gaya dalam ultimate meliputi momen lentur, gaya geser, dan gaya aksial yang diperoleh dari analisis struktur, dan digunakan untuk membandingkan hasil gaya dalam pada struktur dinding ferosemen dengan struktur *frame* balok-kolom. Besarnya beban yang bekerja pada balok menentukan besaran gaya geser dan momen yang terjadi.

Dalam perhitungan struktur beban mati, beban hidup dianalisis untuk menghitung gaya dalam *ultimate*. Hasil perhitungan ini diambil momen lentur dan gaya geser terbesar yang harus ditahan oleh balok, sehingga digunakan untuk membandingkan dengan pemodelan struktur dinding ferosemen dengan pemodelan struktur *frame* balok-kolom. Hasil gaya dalam kolom selengkapnya ditampilkan pada Tabel 17.

Tabel 17. Hasil Gaya Dalam Kolom

Rumah	Parameter	Struktur Dinding Ferosemen	Struktur <i>Frame</i> Balok-Kolom	Perbandingan %
1	Momen <i>Ultimate</i> , kN.m	0,009	0,702	1,326%
	Gaya Geser, kN	1,763	2,061	85,553%
	Gaya Aksial, kN	1,894	12,313	15,382%
2	Momen <i>Ultimate</i> , kN.m	0,040	3,377	1,193%
	Gaya Geser, kN	1,933	2,582	74,871%
	Gaya Aksial, kN	10,671	19,981	53,404%

Hasil selengkapnya yaitu studi komparasi gaya-gaya dalam momen lentur dan gaya geser untuk struktur yang direncanakan dengan pemodelan dinding

ferosemen dan struktur *frame* balok-kolom studi kasus Rumah 1 dan Rumah 2 ditampilkan pada Tabel 18.

Tabel 18. Hasil Gaya Dalam Balok

Rumah	Parameter	Struktur Dinding Ferosemen		Struktur <i>Frame</i> Balok-Kolom		Perbandingan (%)	
		Tump.	Lap.	Tump.	Lap.	Tump.	Lap.
1	Momen <i>Ultimate</i> , kN.m	0,092	0,092	2,159	0,538	4,25%	17,03%
	Gaya Geser, kN	0,441	0,022	2,220	1,297	19,88%	1,71%
2	Momen <i>Ultimate</i> , kN.m	0,082	0,130	0,285	0,232	28,93%	56,15%
	Gaya Geser, kN	0,420	0,148	0,973	0,344	43,16%	43,00%

## SIMPULAN

Kesimpulan dari penelitian ini yaitu rumah yang dimodelkan dengan sistem struktur *frame* balok-kolom menunjukkan perilaku yaitu gaya dalam yang lebih tinggi dibandingkan dengan rumah yang dimodelkan sebagai sistem struktur dinding ferosemen (pada area pengganti balok dan kolom), dalam hal momen lentur, geser geser, dan gaya aksial terfaktor pada kolom, serta momen lentur, gaya geser terfaktor pada balok. Hal ini diakibatkan oleh elemen struktur dengan dinding ferosemen yang menggunakan dinding mortar yang dilapisi *wiremesh*, menghasilkan distribusi gaya dalam yang lebih merata pada area pengganti balok-kolom.

Untuk tinjauan perilaku kekakuan bangunan akibat beban lateral, sistem struktur *frame* balok-kolom menghasilkan kekakuan lebih tinggi dibandingkan pada sistem struktur dinding ferosemen, sehingga deformasi akibat gaya lateral (beban gempa rencana) lebih rendah. Simpangan antar tingkat pada sistem struktur *frame* balok-kolom lebih rendah dibandingkan dengan sistem struktur dinding ferosemen. Meskipun demikian, simpangan yang terjadi masih dalam batas sesuai SNI 1726:2019.

Kedua jenis struktur, baik sistem *frame* balok-kolom maupun sistem dinding ferosemen menunjukkan pengaruh *P-Delta* tidak signifikan dan memenuhi persyaratan yang ditetapkan. Meskipun model sistem struktur dinding ferosemen memiliki karakteristik lebih fleksibel, analisis *P-Delta* menunjukkan bahwa keduanya dapat mencegah efek *P-Delta* dengan baik dalam stabilitas struktural.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Peneliti mengucapkan terima kasih kepada seluruh pihak yang terlibat dalam penelitian ini terutama Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi (Kemendikbud Ristek) melalui skema Magang dan Studi Independen Bersertifikat (MSIB) tahun 2024. Melalui program ini, penelitian ini dapat berlangsung dengan mengadaptasi objek penelitian dari hasil lapangan selama magang.

## DAFTAR PUSTAKA

Badan Standarisasi Nasional. (2019). *SNI 1726:2019 tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung*, 8.

## Analisis Bangunan dengan (Saputra/hal. 222-235)

- Badan Standarisasi Nasional. (2012). *SNI 1726:2012 tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung*.
- Badan Standarisasi Nasional. (2020). *SNI 1727:2020 tentang Beban Desain Minimum dan Kriteria Terkait untuk Bangunan Gedung dan Struktur Lain*.
- Gunasti, A. dan Laili, J. (2024). Pemanfaatan Teknologi Ferosemen oleh Relawan MDMC untuk Merehabilitasi dan Merekonstruksi Rumah Rusak Akibat Bencana Gempa Bumi. *Jurnal Abdi Insani*, 11(1), 770-780.
- Gunasti, A., Muhtar, dan Sanosra, A. (2023). Pelatihan Me-Retrofit Rumah Sederhana dengan Teknologi Ferosemen bagi Tukang Bangunan di Kabupaten Jember. *Jurnal Abdi Insani*, 10(3), 1902-1912.
- Kementerian Pekerjaan Umum. (2021), *Aplikasi Spektrum Respon Desain Indonesia 2021*.
- Patria, A. S. N. dan Haq, Y. A. (2024). Pengaruh Konfigurasi Shearwall Terhadap Kapasitas Struktur Gedung Bertingkat. *Menara: Jurnal Teknik Sipil*, 19(2), 160–167.
- Puspitasari, S. D., Siswosukarto, S., Harahap, S., dan Astuti, P. (2022). Analisa Perilaku dan Ketahanan Rumah Adat Bugis terhadap Beban Gempa. *Jurnal Teknik Sipil*, 16(4), 280-288.
- Rahmadani, M., Aprillin, R., dan Murtinugraha, E. (2019). Analisa Perilaku Bangunan Tidak Beraturan Secara Horizontal dengan Dilatasi terhadap Gempa. *Menara: Jurnal Teknik Sipil*, 14(2), 52-66.
- Rahman, A., Bachtiar, G., dan Daryati. (2013). Studi Kuat Lentur Pelat Ferrocement dengan Lapisan Lembaran Aluminium sebagai Bekisting Tetap pada Material Pelat Lantai Bangunan Bertingkat. *Menara: Jurnal Teknik Sipil*, 8(1), 1-15.
- Saputra, U., Putra, H. S. E., Tanjung, J., dan Thamrin, R. (2015). Studi Eksperimental Pengaruh Dinding Bata terhadap Ketahanan Kolom Struktur Portal Sederhana. *Jurnal Rekayasa Sipil (JRS-Unand)*, 11(2), 25-35.
- Sudarsana, I. K., Widiarsa, I. B. R., Negara, M. K. A., dan Wirawan, I. P. A. P. (2023). Pengaruh Dinding Bata Bertulang terhadap Kinerja Struktur Rangka dengan Dinding Pengisi (Infilled Frame). *Jurnal Ilmiah Telsinas: Elektro, Sipil dan Teknik Informasi*, 6(1), 1-10
- Yuristia, D., S., R. A., dan Murtinugraha, R. E. (2018). Analisis Perilaku Struktur Bangunan Terhadap Beban Gempa Pada Bangunan Soft Second Story Dengan Variasi Ketinggian Kolom. *Menara: Jurnal Teknik Sipil*, 13(2).
- Zarkasi, A. (2021). Permodelan Dinding Bata Ringan menggunakan Software SAP2000 V.18.2. *Sigma*, 1(1), 12-20.
- Zulapriansyah, R., Suryanita, R., dan Maizir, H. (2020). Komposisi Optimal Campuran Bata Ringan Silica Fume Berdasarkan Kuat Tekan. *Sainstek (e-Journal)*, 8(2), 49-55.